

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 24320081152484

UDC \_\_\_\_\_

廈門大學

硕 士 学 位 论 文

一种基于四元数的自适应关键帧  
提取方法研究

Research on a Method of Adaptive Key Frame Extraction

Based on Quaternion

鄢 嫣

指导教师姓名: 林 坤 辉 教授

专 业 名 称: 计算机软件与理论

论文提交日期: 2011 年 5 月

论文答辩时间: 2011 年 6 月

学位授予日期: 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2011 年 5 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（    ☒    ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年        月        日

## 摘要

随着计算机软硬件和图形学技术的高速发展,使得利用计算机自动创作动画成为一种普及的动画制作方法。近年来,随着运动捕获设备的广泛使用,生成了大量具有真实感的 3D 人体运动数据,这些数据被广泛地应用于动画生成、计算机游戏以及医学仿真等多个领域。由于运动捕获数据是基于高速率采样得到的,平均每秒钟几十甚至上百帧,而它的每一帧又包含了十几甚至几十个关节的旋转信息,因此它的数据量很大,如何有效地存储和浏览这些数据就变得非常重要。为了便于大量运动捕获数据的压缩存储、检索、浏览以便进一步重用,对运动捕获数据进行关键帧提取是非常有意义的。

本文研究了国内外现有的基于运动捕获数据的关键帧提取方法,特别是自适应采样的关键帧提取方法。并从满足系统的实时性和压缩比两方面的需求出发,提出了改进的自适应关键帧提取算法。本文的主要研究工作是:

(1) 研究和分析了人体运动表示法,并针对运动捕获数据文件——BVH 文件中的运动数据,将文件中用欧拉角表示的数据转换成四元数表示,用四元数的差异表示人体姿态的差异,进而提取运动数据中的关键帧。

(2) 在关键帧提取算法中,阈值需要通过用户指定来设置,为了满足系统的实时性和后期动作编辑的需要,把阈值的设置改为采用自适应方法来设置,从而设计了一种从运动捕获数据文件中提取关键帧的高效算法。

(3) 把改进的关键帧提取算法作为实验检测系统的实时性。实验结果表明,该方法能够高效地从运动捕获数据中提取出关键帧,较好地满足了数据实时压缩的需要。

**关键词:** 运动捕获; 关键帧提取; 自适应

## Abstract

With high-speed development of computer hardware, computer software and graphics technology, animation creation by a computer become a more popular method in the field of creating animation. In recent years, with the widespread use of motion capture devices, which generate a lot of realistic 3D data of body movements. The devices are widely applied in many fields such as animation generation, computer game and medical simulation etc. The motion capture data is provided by high-rate samplings which are acquired at up to hundreds of frames per second on average. Moreover each frame of motion capture data contains ten even dozens of rotating information of joints. The data turnover is so huge, therefore it becomes a very important to choose a more effective way to store and browse all these data. The massive capture data need to be compressed, stored, retrieved and browsed in order to further reuse. For this convenient purpose, it makes more meaningful for extracting the key frame from motion capture data.

This dissertation studies the domestic and foreign existing key frame extraction method based on motion capture data, especially the key frame extraction method of adaptive sampling. In order to satisfy the requirement for both real-time and high compression ratio, this paper presents an improved algorithm of adaptive key frame extraction. The main research work of this dissertation is:

(1) It researches and analyses the human body movement. According to the movement data of motion capture data file-BVH file, it converts the data represented by Euler angle into quaternion, which means using quaternion difference represents the difference of body posture. Then further, it extracts key frame from movement data.

(2) In the key frame extraction algorithm, there is a threshold which let the user to decide. In order to achieve system's real-time and for the need of pose motion editing, the threshold should be set automatically by the adaptive method. Then it designs an effective algorithm which extract key frame form motion capture data.

(3) It makes the improved key frame extraction algorithm as an experiment to test the real-time of system. The experimental results demonstrate that, this method can extract the key frame from motion capture data effectively and more perfectly meet the requirement of the real-time data compression.

**Key Words:** Motion capture; Key frame extraction; Adaptive

# 目录

<b>第一章 引言 .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 研究背景和意义 .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 国内外研究现状.....	1
1.1.2 研究目的和意义.....	3
<b>1.2 研究内容 .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 论文的组织结构 .....</b>	<b>4</b>
<b>第二章 系统相关理论与技术简介 .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 关键帧动画技术 .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 运动捕获技术 .....</b>	<b>6</b>
2.2.1 运动捕获技术的发展与应用.....	7
2.2.2 运动捕获的分类.....	11
2.2.3 运动捕获数据格式和 BVH 文件 .....	14
<b>2.3 人体运动表示法以及相关计算 .....</b>	<b>18</b>
2.3.1 人体运动表示法.....	18
2.3.2 相关计算.....	20
<b>2.4 四元数表示法 .....</b>	<b>20</b>
2.4.1 四元数的定义与性质.....	20
2.4.2 四元数和欧拉角以及矩阵表示的转换.....	21
2.4.3 四元数相比欧拉角的优点.....	23
<b>2.5 本章小结 .....</b>	<b>24</b>
<b>第三章 基于四元数的关键帧提取算法 .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 基于运动捕获数据的关键帧技术 .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 基于四元数的关键帧提取算法思路 .....</b>	<b>25</b>
3.2.1 四元数之间的距离.....	25
3.2.2 运动特征表示.....	27
<b>3.3 基于四元数的关键帧提取算法步骤 .....</b>	<b>28</b>

3.4 实验结果与分析 .....	29
3.5 本章小结 .....	31
<b>第四章 改进的关键帧提取算法 .....</b>	<b>32</b>
4.1 自适应采样方法分析 .....	32
4.2 改进的关键帧提取算法思路 .....	32
4.3 改进的关键帧提取算法步骤 .....	33
4.4 实验结果与分析 .....	34
4.5 本章小结 .....	36
<b>第五章 总结与展望 .....</b>	<b>37</b>
5.1 总结 .....	37
5.2 展望 .....	37
<b>参考文献 .....</b>	<b>38</b>
<b>参加的科研项目 .....</b>	<b>41</b>
<b>研究生期间发表的论文 .....</b>	<b>42</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>43</b>

# Contents

<b>Chapter 1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Background and Significance .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Domestic and Foreign Research Status .....	1
1.1.2 Research Purpose and Implication .....	3
<b>1.2 Research Outline .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Composition Structure.....</b>	<b>4</b>
<b>Chapter 2 Brief Information About Relevant Theories and</b>	
<b>Technology.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Key Frame Animation Technology .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Motion Capture Technology .....</b>	<b>6</b>
2.2.1 Development and Application of Motion Capture Technology .....	7
2.2.2 Motion Capture Classification .....	11
2.2.3 Motion Capture Data Formats and BVH Archives .....	14
<b>2.3 Human Movement Representations with Relevant Calculation.....</b>	<b>18</b>
2.3.1 Human Movement Representation .....	18
2.3.2 Relevant Calculation .....	20
<b>2.4 Quaternions Representation .....</b>	<b>20</b>
2.4.1 Quaternions Definition and Attribute .....	20
2.4.2 Conversion Between Euler Angle, Quaternions and Matrix Expression	
.....	21
2.4.3 The Merit of Quaternions Compared with Euler Angle .....	23
<b>2.5 Summary.....</b>	<b>24</b>
<b>Chapter 3 Key Frame Extraction Algorithm Based on Quaternions</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Key Frame Technology Based on Motion Capture Data.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Ideas of the Key Frame Extraction Algorithm Based on Quaternions ....</b>	<b>25</b>



3.2.1 The Distance of the Quaternions .....	25
3.2.2 Motion Character Representation .....	27
<b>3.3 Implementation of the Key Frame Extraction Algorithm Based on Quaternions .....</b>	<b>28</b>
<b>3.4 Experimental Results and Analysis .....</b>	<b>29</b>
<b>3.5 Summary .....</b>	<b>31</b>
<b>Chapter 4 Improved Key Frame Extraction Algorithm .....</b>	<b>32</b>
4.1 Analysis of the Adaptive Sampling Method .....	32
4.2 Ideas of the Improved Key Frame Extraction Algorithm .....	32
4.3 Implementation of the Improved Key Frame Extraction Algorithm .....	33
4.4 Experimental Results and Analysis .....	34
4.5 Summary .....	36
<b>Chapter 5 Conclusion and Prospect .....</b>	<b>37</b>
5.1 Conclusion .....	37
5.2 Prospect .....	37
<b>References .....</b>	<b>38</b>
<b>Research Projects Involved .....</b>	<b>41</b>
<b>Publications .....</b>	<b>42</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>43</b>

厦门大学博硕士论文摘要库

## 第一章 引言

计算机动画技术对于现代人而言,已经不是什么神秘的事物,《侏罗纪公园》、《海底总动员》、《指环王》等电影大片中给人印象极深的特技效果都采用计算机动画技术制作;视频游戏中活灵活现的游戏角色离不开计算机动画技术;虚拟现实以及体育仿真等应用也离不开计算机动画技术的支持。计算机动画技术综合利用了计算机科学、艺术、数学、物理学和其它学科的知识来生成绚丽多彩的连续的逼真的画面。近年来,计算机动画一直是计算机图形学研究中一个非常活跃的领域。

### 1.1 研究背景和意义

#### 1.1.1 国内外研究现状

随着计算机软硬件技术和图形学技术的高速发展,计算机动画已经成为一种重要的数字媒体形式。通过计算机可以生成许多现实世界中不能拍摄到、但是人们可以想象得到且能自行设计出的丰富多彩的计算机动画,这些计算机动画在计算机游戏、影视特技、商业广告、运动仿真及虚拟现实等领域有着非常广泛且深入的应用。

自 20 世纪 70 年代末以来,运动捕获技术开始被用于三维计算机动画制作,并且已经成为制作三维计算机动画的主流方法。随着运动捕获技术的发展和日益成熟,近年来,通过各种途径产生的人体运动捕获的数据量越来越大,导致大规模的海量的三维人体运动数据库的不断建立。如何合理高效地利用这些数据库,对其中的数据进行压缩存储、检索和浏览,从中得到所需要的数据,并利用这些数据进行有效的运动编辑与合成从而实现计算机动画创作,已经成为当前的研究热点。

运动捕获数据的关键帧是人体运动数据的一种摘要表示,它为运动捕获数据的压缩、检索、浏览和重用奠定了基础。为了有效地利用大量的人体运动捕获数据,近年来,研究人员提出了许多不同的关键帧提取方法。现有的基于运动捕获数据的关键帧提取方法主要分为两大类:等间隔采样和自适应采样。等间隔采样

的缺点是，在运动变化缓慢时会因过度采样而造成数据冗余；在运动变化剧烈时会因欠采样而引起运动细节的丢失。为此，研究人员普遍采用自适应采样方法，该方法可以根据运动特征对采样频率进行自动调整，从而较好地解决了等间隔采样中存在的问题。

根据所用技术的不同，自适应采样方法主要可以分为以下三类：

### 1. 曲线简化方法

曲线简化方法首先由 Lim 等<sup>[1]</sup>提出，他们将每帧运动数据看作是高维空间曲线上的一个点，然后根据设定的阈值用曲线简化方法筛选出曲线上的一些凹凸点作为关键帧；该方法的缺点是采用线性插值来计算拟合误差，未考虑人体关节旋转运动的特性。Assa 等<sup>[2]</sup>则先用多维缩放的方法将高维运动数据映射到低维空间，然后再用曲线简化方法提取出关键帧；但该方法要先对四个运动分量分别计算相似矩阵，再用多维缩放进行数据降维，这一过程非常耗时。杨涛等<sup>[3]</sup>引入骨骼夹角作为运动特征，提出了一种基于分层曲线简化的关键帧提取方法；该方法能够较好地提取出静态姿势的边界帧，但忽略了速度变化的边界帧，因此用其进行数据压缩可能带来运动节奏上的失真。

### 2. 帧消减方法

沈军行等<sup>[4]</sup>首先指定运动数据的首帧为关键帧，然后依次消减与关键帧的距离小于设定阈值的后续各帧，而将距离大于阈值的帧则作为新的关键帧并继续消减；该方法的缺点是未考虑到消减帧与后续关键帧之间的相关性。Togawa 等<sup>[5]</sup>和 Li 等<sup>[6]</sup>则用相邻帧线性插值的方法来逐帧消减插值误差最小的帧，并将数量符合要求的剩余帧作为关键帧，它可以看作是 Lim 等<sup>[1]</sup>方法的逆方法；但是这两种方法同样未考虑到人体关节旋转运动的特性，因此在较高压缩率时会产生较大的误差。

### 3. 聚类方法

Liu 等<sup>[7]</sup>根据设定的阈值采用加权帧间距来对各帧进行聚类，将  $N$  帧运动数据聚类到  $K$  个群集合中，并将各个聚类的首帧作为关键帧。Park 等<sup>[8]</sup>则先用 PCA (Principal Component Analysis) 方法对运动数据进行降维，再用  $K$  均值算法进行聚类，最后用离散数据插值算法从聚类中提取关键帧。这两种方法的共同缺点是忽略了运动数据之间的时序相关性。Bulut 等<sup>[9]</sup>则提出了一种基于曲线凸

起度的聚类方法来得到不同的候选关键帧群集,然后根据设定的阈值采用极值法筛选出最终关键帧,其本质上也可以看作是一种改进的曲线简化方法。

### 1.1.2 研究目的和意义

本课题的研究来源于歌舞动漫项目,该项目主要是基于情感模式分析,进行有关舞蹈创作计算模型及其动漫表演实现,汉语歌曲自动朗诵、哼唱、歌唱等不同形式演唱的计算模型及其机器表演实现,以及歌舞综合动漫表演系统方面的研究。项目的主要研究工作是,用动漫人物的虚拟舞蹈动画来表现音乐形象,动漫人物不仅能配合音乐的节拍,也能符合乐曲的情感,并且能够以丰富多彩、连贯流畅的舞蹈展示音乐形象。项目的系统要实现让动漫人物能够通过音乐进行舞蹈动画,这就要利用计算机动画技术在计算机上生成丰富多彩的虚拟真实舞蹈的画面。系统的脚本是姿态的顺序编排,可以把脚本的每一行看作是一个关键帧,插值过程是系统根据物理原理自动完成的。

近年来,随着光学运动捕获系统的应用和普及,获取真实感三维人体运动数据和制作真实感三维人体动画已经成为现实,具有较大规模的商用/研究用人体运动捕获数据库也已经出现。因此,基于已有三维人体运动捕获数据,研究如何利用计算机动画技术对其进行分析、管理和重用,以及研究在此基础上如何开发新的技术以便用于自动化、智能化的三维人体动画创作,这些研究在计算机动画创作领域中具有十分重要的意义。

## 1.2 研究内容

基于上述的研究目的和意义,歌舞动漫系统要实现让动漫人物配合音乐节拍,通过丰富多彩、连贯流畅的舞蹈来展示音乐形象,这样,对系统的实时性要求就比较高。系统要能够根据音乐节拍实时地表达动画人物的舞蹈动作,而且为了能够生成真实而丰富的舞蹈动作,需要实时地通过运动编辑和合成技术来形成新的舞蹈动作。

因此,基于上述的存在问题,本文主要的研究内容有以下几个方面:

1. 对计算机动画技术中的传统关键帧技术进行比较详细的研究分析,并介绍了运动捕获技术的发展、应用和分类。对人体运动表示方法进行深入分析,并

研究适合本文研究工作的动画人物的人体运动表示法。

2. 对已有的三维人体运动捕获的数据文件——BVH (Biovision Hierarchy) 文件格式进行分析, 并在此基础下, 将 BVH 文件中的运动数据从欧拉角表示转换成四元数表示, 并在四元数表示下提取了运动捕获数据文件中的关键帧, 详细研究和分析了关键帧提取算法。

3. 在一般的关键帧提取算法中, 有个阈值需要通过用户指定来设置, 这就降低了系统的实时性。基于这种问题, 将阈值的设置改进为采用自适应方法来设置, 设计了一种从运动捕获数据文件中提取关键帧的高效算法。将改进后的关键帧提取算法运用到系统中, 对算法进行了实验验证和分析。

在本文的研究工作中, 通过把 BVH 文件的运动捕获数据和传统的动画技术结合起来, 可以减少系统与用户的交互, 提高了系统的实时性, 提高了运动数据的压缩率, 有利于后期对舞蹈动作的运动编辑与合成。

### 1.3 论文的组织结构

本文共分为五章, 章节安排概要如下:

第一章探讨课题的研究背景和意义, 阐述了课题的国内外研究现状和研究目的和意义, 同时介绍了本文的研究内容, 最后给出本文的组织结构。

第二章简要介绍与系统相关的理论知识和技术, 包括了计算机动画技术中的关键帧技术, 运动捕获技术的发展、应用和分类, 人体运动表示法和它的相关计算, 运动捕获数据格式和 BVH 文件, 以及相关数学知识——四元数表示法的相关理论。

第三章介绍了基于运动捕捉数据的关键帧提取技术, 然后针对运动捕获数据文件——BVH 文件, 在四元数的表示法下对它进行提取关键帧, 并对关键帧提取算法进行实验和分析。

第四章是本文的关键部分, 主要将自适应方法应用到关键帧提取算法中, 介绍了改进的关键帧提取算法的步骤, 并将改进的算法应用到系统的相关模块中, 对算法进行实验验证和详细分析。

第五章对全文的研究工作进行总结, 并提出了进一步研究的方向。

## 第二章 系统相关理论与技术简介

目前, 三维人体动画技术总体上可以分为两类: 一是以传统计算机动画技术特别是传统二维计算机动画技术为基础发展而来的模型动画, 关键帧动画技术就属于这一类; 二是随着近年来运动捕获系统的普及而产生的基于运动捕获的动画制作技术。作为本文研究工作的先导知识, 本章首先对关键帧动画技术进行介绍, 接着概述了运动捕获技术的发展, 应用和分类, 以及目前主要的一些运动捕获数据格式, 并详细地介绍了研究中所采用的 BVH 文件格式。进而介绍了运动捕捉数据中所采用的人体运动表示法和它的相关计算。最后, 引出了四元数表示法, 四元数是一种动画制作过程中常用来表示旋转的方式, 它能够与 BVH 文件中关节节点的欧拉角进行相互转化。

### 2.1 关键帧动画技术

关键帧是一种常用的动画技术, 其基本原理是首先获取/制作动画序列中比较关键的帧, 而其它帧则根据时间用这些关键帧插值计算得到, 如图 2.1 和图 2.2 所示。最早的关键帧概念来源于传统卡通动画制作。在早期的迪斯尼动画工作室, 熟练的动画师设计卡通动画片中的关键帧画面, 然后由一般的动画师来设计中间过渡帧画面。而在计算机动画制作中, 关键帧由动画师使用计算机辅助完成, 而中间帧则由计算机自动计算得到, 计算机的插值运算替代了传统卡通片制作中的普通动画师。关键帧提取在基于内容的视频检索中有着广泛的应用<sup>[10]</sup>。

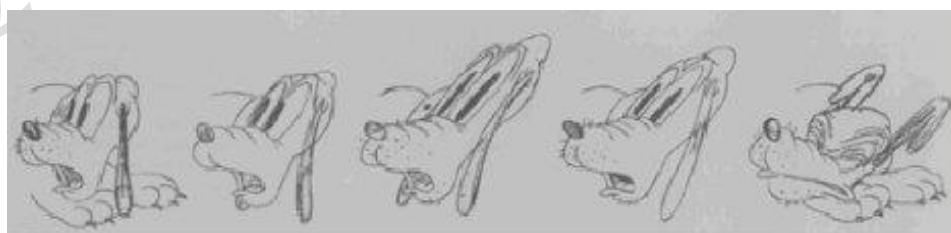


图 2.1 二维计算机动画关键帧序列

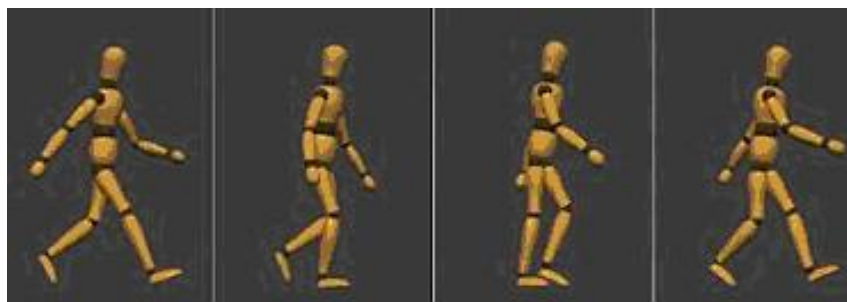


图 2.2 三维计算机动画关键帧序列

关键帧动画技术可以细分为三类：基于图像的关键帧动画<sup>[11]</sup>、形状插值<sup>[12]</sup>以及参数关键帧动画。下面简要介绍这三类技术：

1. 基于图像的关键帧动画是通过对两幅有差异的图像画面进行插值以产生连续变化的图像序列。Beier 在文献[11]中通过对二维数字图像进行特征向量对应关系的建立，以给定的插值算法生成中间图像序列，他将其基于面部特征的图像插值方法成功地运用于著名歌星杰克逊的 MTV 制作上，取得了奇妙的变换效果。

2. 形状插值是目前关键帧动画技术的一个研究重点，对于二维平面和三维拓扑同构的两个几何形体的形状插值是都很好解决的，但对于不同构的两个几何形体，难点在于自动建立其对应关系。Kent 等人在文献[12]中提出对亏格为零的两个非同构多面体，采用将几何形体投影到单位球面上进行拓扑映射，再建立其对应关系，并取得了较好的实验结果。

3. 在参数关键帧动画中，物体的运动状态是以参数的形式来表示，这样物体在某一时刻的具体形状是由一系列参数值决定的，插值过程则是计算中间图像序列的参数值。

关键帧动画技术可以完全控制动画过程，但这是一种很低级的运动控制方式，需要大量的用户交互。另外，关键帧动画技术的使用范围也存在较大的局限性，一般来说，它对于刚体的运动控制较为理想，但是难于描述真实的、大型的、动态的场景。这些都限制了关键帧动画技术的广泛应用。

## 2.2 运动捕获技术

在三维人体动画制作中，依靠纯粹的关键帧动画技术很难得到高度真实感的



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库